

半固形化栄養剤の粘度特性に及ぼす温度の影響

The Viscosity Properties of Semisolid Enteral Supplements are Influenced by Temperature.

岸 和 廣

金城学院大学大学院人間生活学研究科
金城学院大学生生活環境学部

Kazuhiro Kishi

Kinjo Gakuin University, Graduate School of Humanities
College of Human Life and Environment

Keywords: semisolid nutrition supplement, viscosity, shear rate

Abstract

Objective: The aim of this study was to clarify whether temperature is involved in the physical properties of semisolid enteral supplements.

Materials and Methods: Two types of commercially available semisolid enteral nutrition supplements were used in this study. The viscosity of these supplements was measured with a coaxial double cylindrical rotary viscometer. The sample temperature was adjusted to 25 °C (room temperature) or 37 °C (body temperature).

Results: The viscosity of the semisolid enteral nutrition supplement changed with changes in the temperature conditions. As the temperature decreased from 25 °C to 37 °C, the viscosity also decreased significantly. Furthermore, drawing this result on a log-log graph with viscosity (mPa · s) and shear rate (1/S) as the axis, the two types of semisolid enteral supplements used in this study were properties of non-Newtonian fluid.

Conclusion: It was suggested that the coaxial double cylindrical rotary viscometer was able to measure the viscosity of semisolid enteral supplements while keeping temperature.

要約

共軸二重円筒形回転粘度計を用いて半固形化栄養剤の粘度特性を検討した。試料温度を室温(25℃)もしくは体温付近(37℃)の2条件として、市販半固形化栄養剤2種の粘度を測定したところ、スピンドル回転数の上昇に伴って粘度は低下した。本研究で設定した胃内ずり速度の範囲内におけるいずれのスピンドル回転数においても、37℃における粘度の数値は25℃における粘度の数値に比べて有意に低下した。また、これらの結果を粘度とずり速度を軸とした両

軸対数グラフに描画すると右肩下がりの直線状となり、本研究に用いた2種の半固形化栄養剤は非ニュートン流体の物性を持つことが示された。

共軸二重円筒形回転粘度計は単一円筒形回転粘度計（以下、B型粘度計）に共軸回転部を装着した粘度計であるが、ずり速度を得ることができ、なおかつ粘度測定部の高精度な温調が可能となる。本研究から、共軸二重円筒形回転粘度計を用いることにより、半固形化栄養剤の温度が室温から体温付近に上昇することによって起こる粘度低下を評価できることが明らかとなった。

キーワード：半固形化栄養剤、粘度、ずり速度

1. はじめに

半固形化栄養剤は、主に胃瘻からの経腸栄養法に用いられる栄養剤で、我が国独自の形状である¹⁾。半固形化栄養剤は液状の栄養剤よりも粘度が高いため、胃食道逆流は低減され誤嚥性肺炎の防止に効果がある²⁾。また、液状の栄養剤に比べて胃内停滞時間が長いので、胃から小腸への栄養剤流入が緩慢になり、急激な血糖値の上昇や代謝異常を防止することができる²⁾。

半固形化栄養剤は現在、液状の経腸栄養剤が持つ欠点を克服する半消化態の濃厚流動食として食品会社から製品化されている。2014年には薬品扱いの半固形化栄養剤（ラコール®NF配合経腸用半固形剤 [大塚製薬工場製]）が認可された。しかしながら、これら半固形化栄養剤の表記粘度は製品化している各社独自の測定条件で測定した結果であり、製品間の粘度の比較を行うことができない。また、温度については室温付近（20℃もしくは25℃）で測定されており、胃内を想定した体温付近での粘度は明らかになっていない。

本研究では、粘度の測定において重要な要素となる温度に着目し、室温と体温付近の二つの温度域で半固形化栄養剤の粘度に差がみられるかどうかを検討した。

（本研究は2017年度金城学院大学特別研究助成費の助成対象である）

2. 方法

2.1 粘度計の概要

本研究では、共軸二重円筒形回転粘度計（Brookfield B型粘度計）に温調可能な共軸二重円筒形回転部を装着したシステム、LVDV2T型、及び少量サンプルアダプター、SC4-14型スピンドル、いずれも英弘精機株式会社製）を使用した。試料温度を高精度に保温するために、少量サンプルアダプターへ循環型恒温槽（FUBER社製、MPC-K6型）を装着した。

2.2 測定条件

本研究における試料温度は室温（ $25.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ）、体温（ $37.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ）とした。

スピンドルの回転数は5 rpm、10 rpm、20（もしくは25）rpm、50 rpm（本研究におけるシステムでは、それぞれ、ずり速度 2.0 S^{-1} 、 4.0 S^{-1} 、8（もしくは10.0） S^{-1} 、 20.0 S^{-1} に相当）とし、粘度測定時のトルク値が10～100%の間で得られた粘度（ $\text{mPa} \cdot \text{S}$ ）を有効な数値とした。1

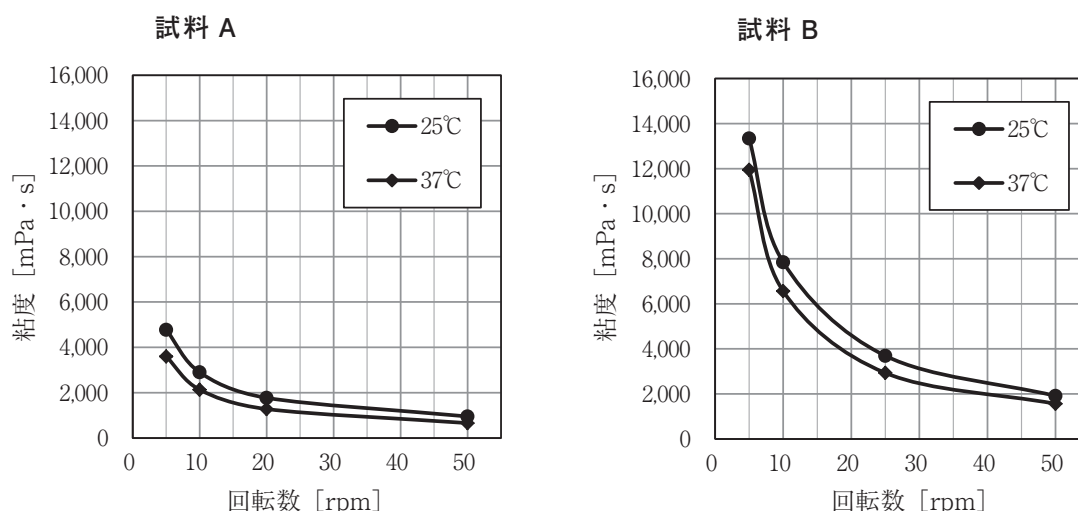


図1 半固形化栄養剤の粘度と試料温度との関連（左：試料A、右：試料B）

製品当たり異なるロットを3包入手し、それぞれ1サンプル当たり粘度を3回測定した平均値を解析に用いた。

分析に用いたサンプルは、経腸栄養剤注入用シリンジを通過させ、サンプル量は2.1 mLとした。

2.3 試料

本研究で用いた試料は、市販の半固形化栄養剤（濃厚流動食）2種である。それぞれ、試料A（ハイネ®ゼリー黒糖風味、濃厚流動食品 [ゼリータイプ]、大塚製薬工場製、B型粘度計による製品表記粘度は12,000 mPa・s [20℃、6 rpm]）、試料B（PGソフトEJ、濃厚流動食 [半固形タイプ]、テルモ株式会社製、B型粘度計による製品表記粘度は20,000 mPa・s [25℃、6 rpm]）とした。

2.4 統計処理

本研究で得られた測定結果の数値は、SPSS 25 Statistics（日本アイ・ビー・エム株式会社）を用いて対応のあるサンプルのT-検定により統計処理を行った。

3. 結果

共軸二重円筒形回転粘度計を用いて、半固形化栄養剤2種の粘度測定を行ったときのスピンドル回転数と粘度との関係をグラフに示す（図1）。

試料Aにおいては、スピンドル回転数5～50 rpmの範囲では、25℃から37℃へ試料温度が上昇すると粘度が有意に低下した（図1左、表1）。試料Bも同様に、試料温度が25℃から37℃に上昇することによって粘度は有意に低下した（図1右、表1）。試料A、試料B共に、本研究の結果は、製品表記の粘度の数値を下回った。試料Aと試料Bを比較すると、25℃、37℃いずれの設定温度においても試料Aの粘度は試料Bの粘度を上回ることにはなかった。

表1の数値を、両軸対数グラフに表した結果を図2に示す。

表 1 試料温度の上昇による半固形化栄養剤の粘度の有意な低下 (T-検定)

試料名 (表記粘度、[条件])	回転数	粘度 (mPa・s)		P 値
		25℃	37℃	
試料 A (12,000 mPa・s, [6 rpm, 20℃])	5 rpm	4,777 ± 86	3,598 ± 118	p < 0.001
	10 rpm	2,900 ± 33	2,133 ± 73	p < 0.001
	20 rpm	1,774 ± 6	953 ± 6	p < 0.001
	50 rpm	1,280 ± 35	660 ± 21	p < 0.001
試料 B (20,000 mPa・s, [6 rpm, 25℃])	5 rpm	13,337 ± 909	11,947 ± 189	p = 0.040
	10 rpm	7,848 ± 383	6,562 ± 154	p = 0.024
	25 rpm	3,693 ± 97	2,933 ± 87	p < 0.001
	50 rpm	1,912 ± 124	1,561 ± 47	p = 0.009

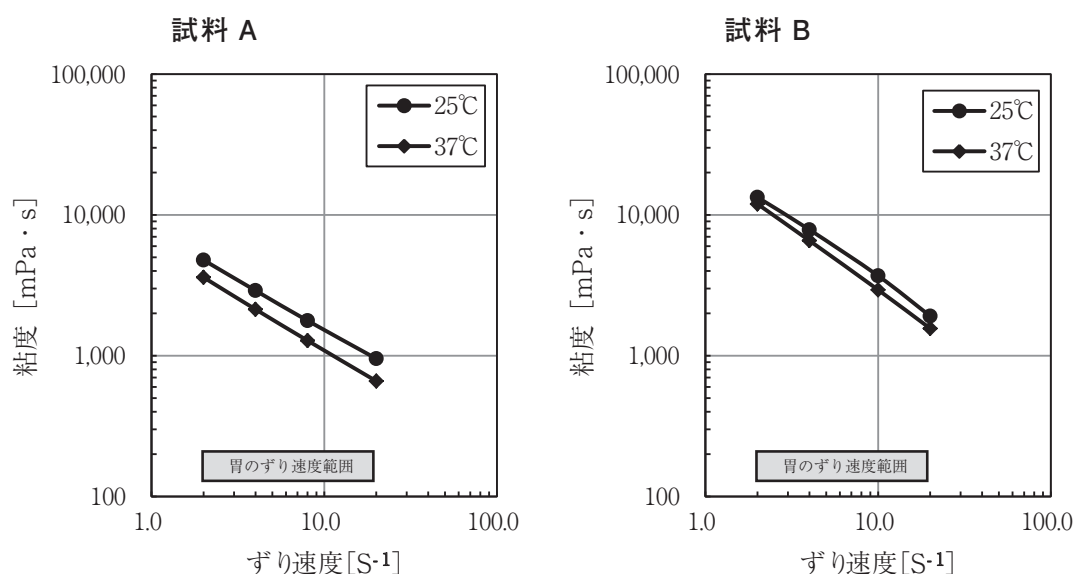


図 2 半固形化栄養剤のずり速度と試料温度との関連 (両軸対数グラフ、左：試料A、右：試料B)

試料Aにおいては、ずり速度2.0 ～ 20.0 S⁻¹の範囲では、粘度の数値は右下がりの直線状を示した。試料Bにおいても同じずり速度の範囲では粘度の数値は右肩下がりの直線状となった。

4. 考察

Andradeの式³⁾のように、液体は液温が上昇すると粘度が低下する。これまでの半固形化栄養剤の粘度に関する研究報告では室温付近での解析結果もしくは体温付近における胃内人工消化実験を解析した結果⁴⁾が多く、室温から体温に温度が上昇したときの粘度低下等を詳細に検討した研究は殆どない。本研究では、市販化の半固形化栄養剤2種を用いて、粘度と温度との関連を解析した。混合物である食品の粘度測定には主にコーンプレート型回転粘度計(以下、E型粘度計)やB型粘度計が用いられている⁵⁾。E型粘度計は高精度かつ測定可能な粘度範囲が広い反面、粒子サイズが大きい試料は分析できないという欠点があり、B型粘度計は簡便で

あるが温調が難しく、ずり速度を容易に得ることができないという欠点がある。そこで本研究では、これらの欠点が生じにくく、食品の物性解析に適すると考えられる共軸二重円筒形回転粘度計を用いて半固形化栄養剤の粘度を解析した。

本研究で用いた共軸二重円筒形回転粘度計システムでは、測定する試料を互いに共軸関係にある内筒（スピンドル）と外筒（カップ）の間に挟み込み、内筒を回転させることによって生じる抗力を利用して粘度を導き出している。このとき、内筒と外筒は共軸関係にあるため、試料は一定の厚みを持った空間内で『ずり』を生じることから、ずり速度を得ることもできる。さらに本研究では、外筒に相当するカップに循環恒温槽を接続して高精度の温調下で粘度測定を行ったので、温度による粘度の変化を検討することができた。半固形化栄養剤の表記粘度は室温付近で測定した結果が殆どであるので、胃瘻を介して胃内注入された後の半固形化栄養剤の物性とは異なっている可能性がある。

山賀らは、本研究で用いた2種類の半固形化栄養剤と同一の製品をE型粘度計及びB型粘度計（いずれも $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ）を用いて粘度及びずり速度を解析した⁶⁾が、特に試料Bに関しては共軸二重円筒形回転粘度計を用いた本研究の結果（ $25.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ）と同様の数値であった。さらに同研究では、試料Aについては製品中のゾル状の部分とゲル状の部分が混在していることを指摘しており、半固形化栄養剤の物性の測定方法にはB型粘度計が適していると結論づけた。試料Aは増粘剤としてグァーガム分解物やゲル化剤として寒天を含有しており、試料Bはゲル化剤として寒天やグルコン酸カルシウム、ペクチンを含有しているが、その含有量は明らかになっていない。増粘剤やゲル化剤の水溶液は非ニュートン流体として性質を持つ^{7,8)}ので、これらの配合が粘度計の特性に何らかの影響を及ぼすことが考えられるが、その詳細については今後とも検討していく必要がある。

一方、今回用いた試料の製品表記粘度はB型粘度計を用いて測定されている。試料Aではローター回転数6 rpm、温度 20°C において粘度 $12,000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 、試料Bでは6 rpm、 25°C において粘度 $20,000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ となっており、いずれも本研究で得られた結果よりも高い数値である。粘度の数値が高くなる要因としては、ローター回転数の低下、試料温度の低下が考えられるが、今回用いた試料の製品表記粘度の測定条件にはB型粘度計のローター半径や測定容器の内径等が示されておらず、ずり速度の推定ができない。栗山¹⁾や清水⁹⁾が指摘するように、測定条件の違いが数値の差の原因となっていることが考えられるので、半固形化栄養剤の粘度を検討する際には、ローター回転数と粘度の関係を示した表記粘度のみを単に比較するのではなく、本研究のように、ずり速度と粘度との関連を示したデータ同士を比較することが望まれる。

本研究では、胃のずり速度範囲¹⁰⁾ $2.0 \sim 20.0 \text{ S}^{-1}$ において2種の半固形化栄養剤の粘度を解析したが、この範囲内では室温下に比べて体温付近の半固形化栄養剤の粘度は有意に低下し、粘度とずり速度を両軸対数グラフに再プロットすると右肩下がりの直線、即ち非ニュートン流体の性状を示す¹¹⁾ことが明らかとなった。また、この結果は、胃内に注入された半固形化栄養剤の性状の変化を検討する際には、温度を厳格に管理する必要があることを示唆している。今

後は半固形化栄養剤が胃液によって消化を受けた際に、粘度がどのような影響を受けるのかを詳細に検討することが求められる。

5. 文献

- 1) 栗山とよ子, 半固形化栄養の実際と工夫, 半固形化栄養剤と粘度の選択, Nutrition Care 8, 153-155 (2015)
- 2) 佐々木雅也, 仲川満弓, 岩川裕美, PEGからの経腸栄養剤の実際と注意点, 半固形化栄養剤, 関西PEG・栄養研究会編, PEG (胃瘻) 栄養, 82-87 (2009)
- 3) E. N. da Costa Andrade, Viscosity of Liquids, Nature 129, 125-126 (1932)
- 4) 竹村有美, 山下智省, 清木雅一 他, 半固形化栄養材の人工胃液中での物性変化, 静脈経腸栄養26, 1255-1264 (2011)
- 5) 飯島正平, PDNレクチャー Chapter2 経腸栄養, 5. 半固形化栄養剤, 1. 基礎的な知識, NPO法人PEGドクターネットワーク2011 spring 1-4 (2011)
- 6) 山賀華奈子, 合田文則, 河本彩 他, 半固形化経腸栄養剤の物性測定方法についての検討, 静脈経腸栄養26, 1247-1253 (2011)
- 7) 熊谷仁, 熊谷日登美, レオロジーと食品工学－嚥下状概要介護食の物性を中心として, 日本食品工業学会誌 10, 137-148 (2009)
- 8) 藤谷順子, 飯島正平, 5つの濃度のニュートン流体を用いた官能試験による, とろみ液の粘度測定条件 (ずり速度) の検討, リハビリテーション医学 53, 164-171 (2016)
- 9) 清水敦哉, 市販の半固形化栄養剤 (半固形状流動食) の製品と特徴, Nutrition Care 8, 156-160 (2015)
- 10) 合田文則, 飯島正平, 蟹江治郎 他, 栄養材の形状と用語の統一, 臨床栄養114, 645-650 (2009)
- 11) 岸和廣, 共軸二重円筒形回転粘度計を用いた流動性食品の粘度の解析, 金城学院大学論集 自然科学編 第14巻, 第1号, 1-6 (2017)